pedazos de metal de espesor diferente y hechos de sustancias diferentes que se pueden doblar con igual facilidad. Conclusión: la facilidad de doblamiento es una propiedad de los objetos y no de la sustancia.

Por lo tanto, debemos buscar propiedades características de las sustancias para poder determinar la constitución de cualquier objeto. Es decir, propiedades que no dependan de la cantidad de la sustancia, o de la forma de la muestra que se examine.

En este capítulo vamos a fijar nuestra atención en las propiedades características que muestran diferencias entre las sustancias.

Si una varilla de aluminio se parte en fragmentos que tengan igual volumen, por ejemplo 1 cm^3, encontramos que todos tienen la misma masa cuando los pesamos en una balanza, no importa de qué parte de la varilla hayamos tomado las muestras. ¿Qué pasará si tomamos varias muestras de 1 cm^3 de un mismo recipiente que contenga agua? Encontraremos que cada cm de agua tiene la misma masa. Sin embargo, la masa de 1cm^3 de agua es diferente a la masa de 1 cm^3 de la varilla de aluminio. Esto quiere decir que la masa de un volumen determinado de material es la misma para todos los volúmenes iguales de esa sustancia, pero difiere generalmente cuando se trata de sustancias diferentes, sin importar el volumen determinado que hayamos utilizado.

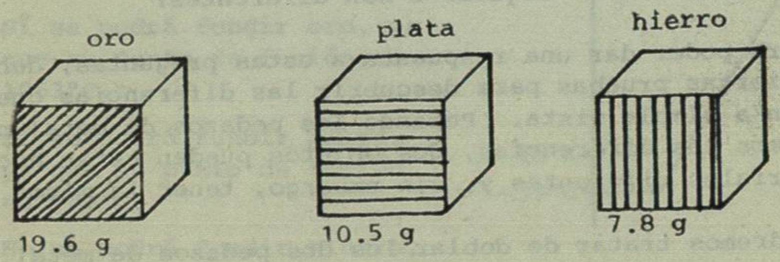

Fig. 3.

La masa de un volumen dado es, por lo tanto, una propiedad característica de cada material y nos sirve para diferenciarla entre las diversas sustancias.

A la masa de una unidad de volumen de material se le llama *densidad* del material y se le representa con la letra griega ρ (ro).

Por lo general no tenemos muestras de material de 1 cm^3 de volumen, pero podemos determinar la densidad de una muestra de cualquier volumen, midiendo la masa y el volumen y dividiendo la masa entre el volumen. Algebraicamente nos quedaría:

$$\rho = \text{densidad}$$

$$\rho = M/V \qquad (1)$$

$$\text{densidad relativa} = \frac{\text{densidad de la sustancia}}{\text{densidad del agua}}$$

y ya que la masa la podemos medir en gramos (g) y kilogramos (Kg); y el volumen cuyas unidades más comunes son: metros cúbicos (m^3) y centímetros cúbicos (cm^3), tenemos:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \frac{(g)}{(cm^3)}$$

$$\rho = g/cm^3$$

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \frac{Kg}{(m^3)}$$

$$\rho = Kg/m^3$$

La tabla 4-2 muestra una lista de densidades de varias sustancias. Notaremos que la mayor parte de los sólidos y líquidos tienen una densidad que varía entre 0.5 g/cm^3 y 20 g/cm^3; pero las necesidades de los gases sólo alcanzan 1/1000 aproximadamente de las densidades de los sólidos y líquidos.

Ejemplo 2.

Se tiene una muestra de metal con una masa de 4050 g y ocupa un volumen de 1500 cm^3. Calcular su densidad.

Solución:

Por la ecuación 1, tenemos:

$$\rho = M/V$$

$$= 450\ g/1500\ cm^3$$

$$= 2.7\ g/cm^3$$

TABLA 4-2. Densidad específica de diversas sustancias.

	Densidad g/cm^3		Densidad g/cm^3
Aire	$1.29 \times 10^{-}$	Hormigón	1.80 a 2.45
Hidrógeno	$8.99 \times 10^{-}$	Hule bruto	0.92 a 0.96
Helio	$1.7 \times 10^{-}$	Ladrillo tabique	1.4 a 1.6
Oxígeno	$1.43 \times 10^{-}$	Latón	8.4 a 8.7
Agua	1	Lignito	1.2 a 1.5
Aceite de oliva	0.92	Madera de encino (seca)	0.43 a 0.96
Mercurio	13.06	Madera de pino (seca)	0.31 a 0.76
Acero colado	7.7	Mármol	2.2 a 2.85
Aluminio	2.7	Nieve	0.25
Amianto	2.1 a 2.8	Piedra de cal	2.46 a 2.84
Cal viva	0.9 a 1.3	Oro nativo	19.29
Carbón de piedra	1.2 a 1.5	Papel	0.70 a 1.1
Cemento	0.82 a 1.95	Plata (fundida)	10.42 a 10.53
Cobre	8.80 a 8.92	Platino (fundido)	21.45
Coque	1.4	Plomo	11.25 a 11.37
Corcho	0.24	Porcelana	2.3 2.5
Cristal	2.40 a 3.90	Tungsteno	19.3
Cuero (seco)	0.86	Zinc (fundido)	7.13
Diamante	3.5 a 3.6		
Estaño fundido	7.82		
Grasas	0.92		
Grava	1.8 a 2.0		
Hierro de fundición	7.6		
Hierro dulce	7.85		

Ya con este valor de la densidad del metal, podemos buscar a qué sustancia corresponde. En la tabla 4-2 encontramos que el aluminio es la sustancia que tiene ese valor. Por lo tanto, podemos concluir que esta muestra de metal corresponde al aluminio.

Ejemplo 3.

Un líquido tiene una masa de 460 Kg. Si el volumen que ocupa este líquido es de 0.5 m^3, ¿de qué líquido se trata?

Solución:

Tenemos como datos la masa y el volumen y con ellos podemos calcular la densidad. Teniendo la densidad podemos compararla con las densidades de la tabla 4-2 y así saber a qué líquido nos referimos.

Por la ecuación 1, tenemos:

$$\rho = M/V$$

$$\rho = \frac{460 \text{ Kg}}{0.5 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 920 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 0.92 \text{ g/cm}^3$$

Revisando las densidades de la tabla 4-2 y comparando nuestro resultado, obtenemos el líquido buscado: *aceite de oliva*.

4-7 OTRAS APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA DENSIDAD.

Por medio de la densidad podemos calcular la masa que se utiliza o se puede utilizar en un determinado experimento o trabajo. Podemos calcular el precio de un material que se necesita comprar. La cantidad o volumen que ocupará una determinada masa de algún sólido, líquido o gas.

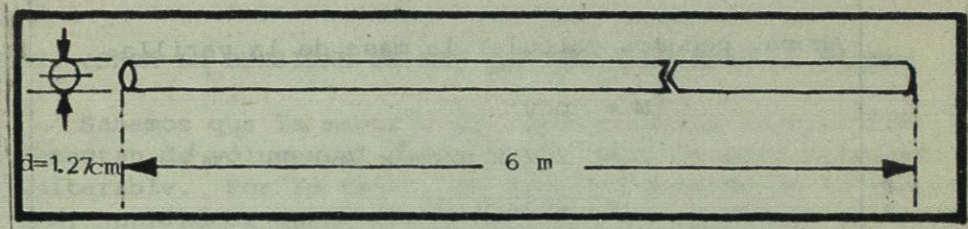

Fig. 4.

Ejemplo 4.

Se necesita comprar una varilla cilíndrica de aluminio de 1.27 cm (1/2 pulgada) de diámetro y de 6 m de longitud. Si el precio del aluminio es de 45 \$/Kg, calcular el precio total de la varilla.

Datos: d= 1.27 cm, L= 6 m, precio = 45 \$/Kg,
ρ= 2.7g/cm^3 según la tabla 5-2.

Solución:

Por la ecuación 1, tenemos:

$$\rho = M/V$$

$$M = V$$

Con los primeros datos podemos calcular el volumen (usaremos la ecuación del volumen de un cilindro).

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times \ell$$

$$= \frac{\pi (1.27 \text{ cm})^2}{4} \times 500 \text{ cm}$$

$$= 760.06 \text{ cm}^3$$

Ahora, podemos calcular la masa de la varilla:

$$M = \rho V$$

$$= 2.7 \times g/cm^3 \times 760.06 \text{ cm}^3$$

$$= 2052 \text{ g}$$

$$= 2.052 \text{ Kg}$$

El precio que tendríamos que pagar por esa cantidad de masa, sería:

precio total = masa x precio unitario

= 2.052 Kg x 45.00 $/Kg

= $ 92.34

4-8 PESO ESPECÍFICO RELATIVO.

El *peso específico relativo* es otro término usado frecuentemente para expresar los pesos relativos de la materia. Éste se define como *la relación que existe entre el peso de una sustancia dada y el peso de un volumen igual de agua.*

$$\text{peso específico relativo} = \frac{\text{peso de una sustancia dada}}{\text{peso de un volumen igual de agua}}$$

Como esta fórmula es una relación de pesos, el peso específico relativo es una cantidad sin unidades y el valor será numéricamente igual al de la densidad de la sustancia dada. Por ejemplo, el peso específico del plomo es de 11.3, su densidad es de 11.3 g/cm^3. Esto quiere decir que el plomo es 11.3 veces más pesado que el agua.

4-9 ¿SERÁ LA DENSIDAD DE UNA SUSTANCIA SIEMPRE LA MISMA?

Sabemos que la mayoría de las sustancias se diltatan (aumentan de volumen al calentarse), pero su masa permanece inalterable. Por lo tanto, la densidad depende de la temperatura, haciéndose menor cuando el material se dilata y aumenta de volumen. Sin embargo, la dilatación es muy pequeña entre los sólidos y líquidos y tiene poco efecto sobre la densidad.

La situación es altamente diferente cuando se trata de gases que muestran una gran expansión (dilatación) térmica. Aún más, encontramos que es muy difícil comprimir sólidos y líquidos, pero podemos fácilmente comprimir un gas. Por lo tanto, siempre que se mida la densidad de un gas, se tiene que precisar la temperatura y presión a que se hace la medida.

4-10 DILATACIÓN TÉRMICA.

La mayoría de los objetos se dilatan cuando se calientan, pero la sola medida de cuánto se dilatan los diferentes objetos, no nos permite distinguir la sustancia de un objeto de la de otro.

Si a una sustancia se le agrega calor, se aumenta su temperatura y por supuesto, aumenta la energía cinética de sus moléculas. Este incremento de energía hace que las moléculas vibren a través de distancias mayores. Este aumento en amplitud de una molécula, forzará a las moléculas vecinas a permane cer a una distancia mayor. Por lo tanto, la sustancia se dilatará.

Para analizar la dilatación, debemos primero considerar los factores que podrían determinar la dilatación térmica de un objeto. Los experimentos muestran que cuando calentamos una varilla de metal, ésta se dilata cada vez más a medida que la temperatura aumenta. Así que, si queremos encontrar una propiedad característica, tenemos que considerar la dilatación de la varilla entre dos temperaturas determinadas. La temperatura a que está el cuerpo antes de calentar, T_o (temperatura inicial) y T (temperatura final) la temperatura hasta la cual vamos a llevar el objeto o sustancia; y además la longitud (L_o) o volumen (V_o) en que empieza a calentarse.

Existen pequeñas excepciones tal como el agua, que se contrae en el intervalo de 0° a 4°C. En general, las sustancias se dilatan al elevarse la temperatura.

Entre los sólidos y líquidos, cada sustancia tiene distinta dilatación para los mismos cambios de temperatura. Es por eso que definiremos los coeficientes de *dilatación térmica lineal* y *dilatación cúbica* o *volumétrica*.

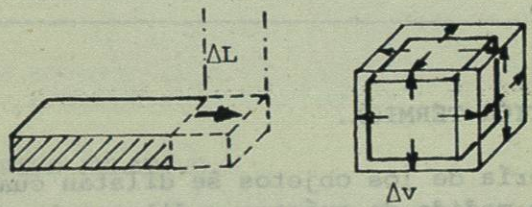

Fig. 5.

El *coeficiente de dilatación térmica lineal es el aumento en longitud por unidad de longitud de una sustancia para un cambio de temperatura de un grado.*

$$\alpha = \frac{\Delta L/L_o}{\Delta T} \qquad (2)$$

En esta ecuación, las unidades de longitud se eliminan y las unidades de α son grados recíprocos, es decir, 1/°C o 1/°F.

En la tabla 4-3 tenemos valores de coeficientes de dilatación térmica lineal de algunas sustancias.

TABLA 4-3. Coeficiente de dilatación térmica (por °C a 20°C).

	LINEAL.	CÚBICA.
Sustancia	$(x\ 10^{-6})$/°C	$(x\ 10^{-6})$
Diamante	1.2	3.5
Vidrio pyrex	3.0	9.0
Vidrio comercial	9.0	27.0
Porcelana	3.0	9.0
Latón laminado	19.0	57.0
Ladrillo	10.0	30.0
Hierro	11.0	33.0
Cuarzo fundido	0.5	1.5
Cobre	17.0	51.0
Aluminio comercial	24.0	72.0
Acero	13.0	39.0
Mercurio		182.0
Caucho	80.0	240.0
Glicerina		500.0
Gasolina		950.0
Metanol		1200.0
Benceno		1240.0
Acetona		1490.0

El coeficiente de dilatación cúbica o volumétrica de una sustancia se define como *el incremento en volumen por unidad de volumen para un cambio de temperatura de un grado* (ver tabla 5-3).

$$\beta = \frac{\Delta V/V_o}{\Delta T} \qquad (3)$$

Al igual que el coeficiente de dilatación térmica lineal, el volumétrico tiene las unidades de grados inversos: 1/°C o 1/°F.

Este fenómeno de dilatación se toma muy en cuenta, principalmente en el diseño de estructuras y vías de ferrocarril.

Conociendo el coeficiente de dilatación, la longitud o volumen del cuerpo y el cambio de temperatura, se puede calcular el cambio de longitud y volumen con las ecuaciones 2 y 3.

Por la ecuación 2, tenemos:

$$\Delta L = L_o \alpha \Delta T \qquad (4)$$

Y por la ecuación 3, tenemos:

$$\Delta L = V_o \beta \Delta T \qquad (5)$$

Ejemplo 5.

Calcular el aumento de longitud de una barra de hierro de 2 m de longitud, si de 25°C, se aumenta la temperatura hasta 150°C.

Datos: $L_o = 2$ m, $\Delta T = (150°C - 25°C) = 125°C$,
$\alpha = 11 \times 10^{-6}$ /°C.

Solución:

Por la ecuación 4, tenemos:

$= L_o \alpha \Delta T$

$= 2\text{m} \times 11 \times 10^{-6}$ /°C$\times 125$°C

$= 2.75 \times 10^{-3}$ m

$= 0.00275$ m

Longitud final = longitud inicial + incremento de longitud

$L = L_o + \Delta L$

$= 2$ m $+ 0.00275$ m

$= 2.00275$ m

Ejemplo 6.

3 litros de glicerina a 15°C, se calientan hasta 80°C. Calcular el aumento de volumen y el volumen final de la glicerina.

Datos: $V_o = 3$ lts, $T = (80°C - 15°C) = 65°C$,
$\beta = 500 \times 10^{-6}$ /°C

Solución:

por la ecuación 5, tenemos:

$\Delta = V_o \beta \Delta T$

$= 3 \text{ lts} \times 5 \times 10^{-4}$ /°C$\times 65$°C

$= 975 \times 10^{-4}$ lts

$= 0.0975$ lts

volumen final = volumen inicial + incremento en el volumen

$V = V_o + \Delta V$

$= 3$ lts $+ 0.0975$ lts

$= 3.0975$ lts

El coeficiente de dilatación cúbica de los gases es $\frac{1}{273}$/°C.

4-11 ELASTICIDAD.

Una sustancia puede cambiar su tamaño por otros procedimientos diferentes de calentamiento o enfriamiento. Podemos alargar una banda de caucho tensionada y comprimir una esponja apretándola. También un alambre de hierro se alarga al tirar de sus extremos. Por supuesto, no lo notamos cuando tratamos de estirar un alambre de hierro con las manos; es necesario utilizar un medio de amplificar el ligero cambio de longitud del alambre.

¿Será la variación de longitud del alambre una propiedad característica del material de que está hecho? El cambio de longitud depende ciertamente de la fuerza tensora. Es por eso que para comparar el alargamiento de dos alambres, debemos suspender igual peso del extremo de cada uno.

¿Existen otros factores que afecten el alargamiento del alambre? Se puede verificar fácilmente que el alargamiento de un alambre aumenta a medida que su longitud se hace mayor y disminuye si el diámetro del alambre aumenta.

Como en el caso de la dilatación térmica, es mucho más fácil medir las propiedades elásticas en los gases que en los sólidos y líquidos.

4-12 LÍMITE ELÁSTICO.

Cuando estiramos un pedazo de hule, le producimos a éste un aumento de longitud. Si lo hacemos con un resorte, también sucede lo mismo. Cuando sucede esto decimos que el cuerpo es elástico. La *elasticidad es la capacidad que tienen todos los*

cuerpos a recuperar su forma después de que se les quita la fuerza deformadora. Esta propiedad es diferente para todos los cuerpos, en cuanto a valor se refiere y es válida hasta que el material llega a su *límite elástico*.

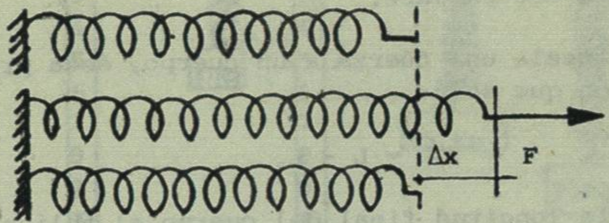

Fig. 6.

Este límite marca la máxima fuerza en la cual el cuerpo puede recuperar su forma, al dejar de aplicarle dicha fuerza. Si esto no sucede y se le aplica una fuerza superior a la del límite elástico, el cuerpo se deformará permanentemente. Por ejemplo, cuando un resorte se estira demasiado, el resorte quedará con una longitud mayor a la que tenía al principio.

En la fig. 7 se muestra el comportamiento mecánico de un sólido sometido a ensayo (prueba) de tensión. La sección recta nos representa la parte en que el cuerpo puede regresar a su forma original. También se muestra el límite elástico.

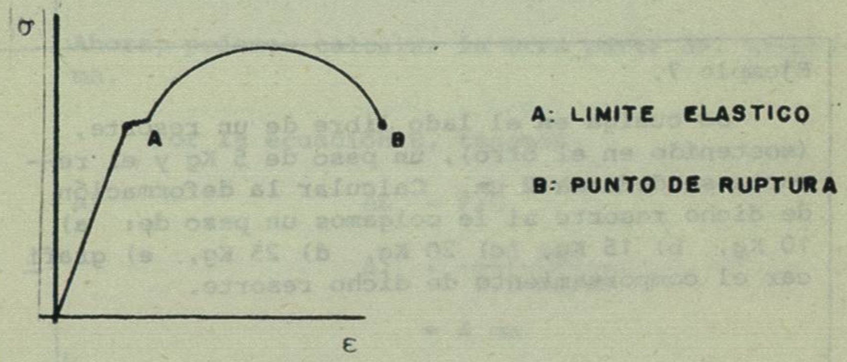

Fig. 7.

4-13 LEY DE HOOKE.

La ley de Hooke expresa que *"el alargamiento" o "acortamiento" de longitud en un cuerpo elástico, son proporcionales a la fuerza que los produce.*

Al aplicársele una fuerza a un cuerpo, ésta producirá una deformación que será:

$$\Delta L = L - L_o \qquad (6)$$

donde L es la longitud final del cuerpo al aplicarle la fuerza y L_o es la longitud inicial o longitud antes de aplicar la fuerza. Esta deformación variará constantemente con la fuerza aplicada, o sea que la relación con que variará la fuerza con respecto a la deformación será una constante.

$$k = F/\Delta L \qquad (7)$$

Esta constante nos servirá para calcular la fuerza que hay que aplicar para producir una determinada deformación o conociendo dicha constante y la fuerza por aplicar, se puede calcular la variación de longitud. Entonces, la ecuación 7 se transformará en:

$$\Delta L = F/k \qquad (8)$$

Ejemplo 7.

Se cuelga en el lado libre de un resorte, (sostenido en el otro), un peso de 5 Kg y el resorte se deforma 2 cm. Calcular la deformación de dicho resorte si le colgamos un peso de: a) 10 Kg, b) 15 Kg, c) 20 Kg, d) 25 Kg, e) graficar el comportamiento de dicho resorte.

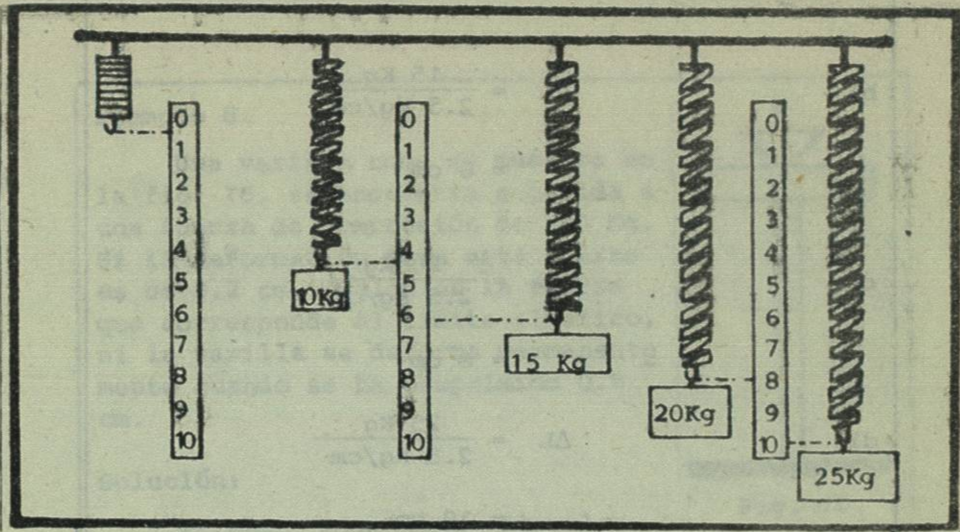

Fig. 8.

Solución:

Primero tenemos que calcular el valor de la constante k, para simplificar el trabajo. Por la ecuación 7, tenemos:

$$k = F/\Delta L$$
$$= 5 \text{ Kg}/2 \text{ cm}$$
$$= 2.5 \text{ Kg/m}$$

Ahora, podemos calcular la otra parte del problema.

Por la ecuación 8, tenemos:

a) $$\Delta L = F/k$$

$$\Delta = \frac{10 \text{ Kg}}{2.5 \text{ Kg/cm}}$$

$$= 4 \text{ cm}$$